
2.- El Conocimiento Científico: Orígenes, Método y Límites

Carlos Muñoz Gutiérrez

En el primer tema de este libro hemos indagado en qué consiste el conocimiento racional. Describíamos una diferencia fundamental entre el conocimiento racional y otras formas de conocimiento o actividades humanas. Esta diferencia consistía fundamentalmente en que mientras otras formas de conocimiento o actividades humanas buscan hacer realidad valores tan diversos como la belleza, la comodidad, la utilidad, la diversión, etc.; el conocimiento científico busca *encontrar la verdad*. Dedicaremos más adelante un tema a este difícil concepto, pero por ahora nos vamos a centrar en investigar los orígenes, métodos y límites del conocimiento científico.

En la historia de la humanidad, habíamos caracterizado el origen del pensamiento racional como un *paso del mito al logos*. En este paso, lo que en realidad cambia es la concepción generalizada que el hombre se hace respecto del mundo. En el mito, el mundo y su comportamiento es fruto de fuerzas caprichosas y extrañas que escapan a nuestra voluntad. En el Logos, el mundo tiene un comportamiento regular que puede estudiarse y traducirse, mediante determinados códigos y herramientas, a un lenguaje comprensible para los seres humanos.

Con la aparición de la *physis*, la Naturaleza, se abre al hombre una singular labor: la del conocimiento del comportamiento regular del mundo. Esta labor, sin embargo, no sólo va a significar un reto intelectual o una satisfacción de la curiosidad humana, sino que, con el tiempo, la ciencia va a convertirse en un aliado para la adaptación del hombre al mundo. O al menos esa es la idea más difundida en nuestras sociedades.

Acabamos de mencionar el término *ciencia*, con lo cual estamos indirectamente indicando que la ciencia es la actividad humana en la que producimos conocimiento científico. Sin embargo, ese paso del mito al logos lo habíamos documentado anteriormente para hablar de Filosofía. Incluso vimos el esfuerzo de Platón para crear y llevar a cabo una ciencia del Bien. ¿Cuál es entonces la diferencia entre Ciencia y Filosofía? ¿Es que existen diversas formas de producir conocimiento científico? ¿Qué es la Ciencia? ¿Cuáles son sus características propias? ¿Cuándo podemos decir que surge la Ciencia? ¿Cuál es su método? ¿Cuáles sus beneficios o sus peligros? ¿Dónde están sus límites?

Hoy en nuestras *"sociedades del conocimiento y de la información"* la Ciencia se ha convertido en algo más que en un esfuerzo por buscar la verdad. Ahora, la Ciencia determina en gran medida nuestras vidas: nos dice cómo vivir o qué comer, nos suministra toda clase de artefactos que condicionan nuestra vida diaria, planifica la economía o la producción, modifica el medio y nuestros entornos urbanos... Se ha convertido en una institución poderosa dentro de nues-

tras sociedades. Sin embargo, a pesar de esta evidente presencia, y del prestigio que tiene en nuestra cultura, es algo demasiado especializado, demasiado críptico, si no se trabaja directamente en ella. Incluso amplias áreas de la ciencia quedan desconocidas para científicos que trabajan en otras disciplinas científicas distintas. El científico se ha convertido en el sacerdote del mito, en aquel que poseía un saber oculto y complejo que al resto de los mortales le resultaba inalcanzable. No es vana entonces una pequeña reflexión sobre el Conocimiento Científico y sobre esa institución que se ha apoderado de él, la Ciencia.

1.- El Conocimiento Científico y la Ciencia

Uno de los problemas clásicos de la filosofía de la ciencia es lo que se conoce como la *demarcación científica*. ¿Qué es lo propio de la ciencia? ¿Qué es ciencia y qué no lo es?

Antes de responder a esta pregunta, advirtamos que hemos mencionado que este problema es un problema filosófico. De esta manera, podemos ahora quizá distinguir mejor el conocimiento filosófico del científico. Ya hemos dicho que la filosofía es la ciencia más general de todas, o, al menos, así la propuso Aristóteles. Pero, fundamentalmente, este problema que nos planteamos ahora, nos ofrece un clave para la distinción. La Filosofía es una reflexión que vincula la actividad humana y el mundo en el que el hombre habita. Define valores, objetivos, fundamentos y criterios. Naturalmente es un conocimiento racional y se orienta a la búsqueda de la verdad, aunque sea una tarea filosófica definir qué sea la verdad, qué sea lo verdadero. Vimos, también, que la tarea de la filosofía es definir otros valores como el bien, la belleza, la virtud o la justicia. Incluso es tarea filosófica dar un contenido a conceptos como 'ciencia', 'método', 'experimento', 'objetividad'.

La ciencia, al contrario, pretende enunciar en forma de leyes regularidades que existen en el comportamiento del mundo o en los hombres mismos y en sus sociedades. La Ciencia no establece una relación entre hombre y mundo, sino que selecciona objetos de estudio e intenta desentrañar su comportamiento. Si, como veremos en el siguiente tema, la verdad es primariamente una correspondencia entre pensamiento y mundo, la ciencia es propiamente la mejor productora de verdades.

Hasta aquí la diferencia entre dos actividades humanas que usan el logos, pero, ya dentro de la ciencia, ¿qué es ciencia y qué no lo es? Por ejemplo, en el siglo XV y XVI la astrología, actividad a la que debemos en la actualidad la producción del horóscopo, entre otras cosas, era considerada una ciencia. Sin embargo hoy, la astrología no se acepta como actividad científica. Ésta ha sido sustituida por la astronomía. En los mismos siglos, existía una actividad que se denominaba Alquimia, que tenía fundamentalmente la tarea de descubrir cómo convertir cualquier cosa en oro. La Alquimia en aquellos tiempos tenía todo el prestigio que la química moderna le ha substraído. Ciertamente, estas disciplinas tuvieron su mejor momento en una época precientífica, antes de que la ciencia se

El Conocimiento Científico

consolidara como institución. ¿Qué criterios se emplearon en el ejercicio del conocimiento, para que estas actividades no entraran a formar parte de lo que hoy conocemos como ciencia?

Fuera de cualquier controversia, diremos que se manejaron dos criterios para distinguir al conocimiento científico de otras formas de conocimiento. Estos criterios son:

1. El Criterio de la Relevancia

Una idea científica debe ser relevante para el objetivo fundamental de la ciencia: Comprender y explicar las regularidades en el comportamiento del mundo. Por ejemplo, puede ser asombroso saberse todos los números de los abonados que aparecen en la guía de teléfonos de Madrid, pero no denominaremos conocimiento científico a ese saber. Sin embargo, la afirmación de que 'todos los abonados que tienen en su número telefónico los dígitos '564' en ese orden, tienen más de 54 años', podría adquirir la condición de científica en el marco de una determinada investigación sociológica.

Desde luego, la especificación de este criterio es una tarea filosófica, no científica; pero, una vez establecido, aceptado, difundido y usado, la división del conocimiento en científico o no científico es clara. Efectivamente, la relación entre las posiciones de los astros y los acontecimientos históricos del hombre, en otro tiempo se consideró como un conocimiento relevante para la explicación y comprensión del mundo. Pero, como hemos dicho ya, la Astrología hoy no pasa el criterio de la relevancia. No es relevante para la comprensión científica del mundo investigar esta relación. Pero, ¿por qué no es relevante ahora, cuando antes lo fue? Seguramente porque no pasa el otro criterio general que debe reunir un conocimiento científico:

2. El Criterio de la Contrastabilidad Pública

El conocimiento científico debe formularse de tal manera que pueda ser contrastable empíricamente. Es decir, que se pueda determinar cuando una afirmación es verdadera o falsa, qué circunstancias o acontecimientos de experiencia, qué hechos, deberían producirse para que se acepte una afirmación científica como verdadera o falsa. En general, siempre es más eficaz mostrar lo que debería pasar para *falsar* una teoría. Porque, aunque la ciencia aspira a la verdad, nunca tendremos una garantía definitiva de haberla alcanzado. Por el contrario, es mucho más fácil determinar si algo es falso. Desde el trabajo del filósofo de la ciencia K. Popper, este criterio toma el nombre de criterio de *falsabilidad*.

Como condición complementaria a la verificación o falsación empírica, se exige que el conocimiento y las pruebas o experimentos que debemos realizar para verificar este conocimiento sean públicos. Es decir, reproducibles en cualquier circunstancia y por cualquier persona o grupo de personas.

Teniendo esto presente, en la actualidad, la relación entre las posiciones de los astros y los acontecimientos de la historia de la humanidad, no permiten

una falsación pública. Los horóscopos de los periódicos, las adivinaciones de los *mediums* o de los echadores de cartas o de los lectores de manos se formulan de tal manera que no queda definido cuando quedaría falsada tal predicción o afirmación. Por eso, este tipo de conocimiento, aunque pudiera ser relevante para los intereses de la ciencia, no es científico.

Desde luego, la determinación de qué es un procedimiento eficaz de prueba, de cómo construir experimentos para verificar teorías científicas o en qué medida deben ser reproducibles públicamente contiene importantes problemas típicamente filosóficos. Pero una vez establecido y aceptado un método, el trabajo de la ciencia y sus productos dejan de ser problemáticos.

Atendiendo a esta última idea, veremos que quizá la característica más sobresaliente de la ciencia es que ésta utiliza un *método de trabajo* con el cual se satisfacen estos criterios. Además, este método es aceptado y caracterizado por toda la comunidad de científicos como el que permite producir conocimiento relevante y contrastable.

Sobre esta base, podemos ahora ahondar en la actividad humana que produce conocimiento científico, e intentar establecer una definición de la ciencia, que recoja, la mayor cantidad de rasgos distintivos.

2.- Definición de Ciencia

Una descripción completa y exhaustiva de la ciencia es algo difícil de ofrecer, sobre todo porque contendrá numerosos conceptos que habrá que definir previamente, pues su significado tampoco es inmediato. Por eso, iniciaremos un proceso: haremos una primera tentativa de definición de 'ciencia', veremos que nuevos conceptos debemos aclarar y finalmente intentaremos ofrecer una definición más completa.

Tentativamente podemos decir que:

"La ciencia es una actividad humana que da lugar a un cuerpo sistemático y organizado de conocimientos que hace uso de leyes y principios generales." (M.V. Wartorsky. Introducción a la filosofía de la Ciencia)

Un análisis de esta primera definición nos permite seleccionar las siguientes ideas:

- La idea de sistematicidad nos remite a la necesidad de un **método**.
- La idea de organización nos remite a la existencia de **teorías**. Las teorías recogen y organizan conjuntos de afirmaciones o leyes sobre un determinado ámbito de la realidad.
- La idea de leyes o principios generales nos remite a la necesidad y universalidad que buscaba la explicación racional, pero también a una abstracción que

El Conocimiento Científico

simplifica la experiencia para centrarse en elementos comunes y significativos.

- Que sea una actividad humana nos devuelve al científico inmerso en una sociedad con todo lo que ello supone tanto respecto a la producción científica, la aceptación de teorías, la supervivencia de la ciencia y su utilidad.

Como vemos, métodos, teorías, leyes son nuevos conceptos que tendremos que aclarar para comprender la actividad científica. Analicemos estos términos con detenimiento. Empezaremos con la noción de teoría.

2.1. Teoría Científica

Podemos definir **teoría** como la unificación de un conjunto de hechos, *hipótesis* y *leyes* sobre un determinado ámbito de la realidad, al que podemos denominar **alcance pretendido** de la teoría. El cometido general de la teoría es presentar una descripción general de los fenómenos o hechos que caen dentro de ese alcance.

Aunque fuera deseable, una teoría que explicase todo, no sería científica. Por eso, la ciencia construye teorías que explican partes o fragmentos de la realidad. Así aparecen, en primer lugar, las diversas ciencias; pero después distintas áreas de conocimiento dentro del ámbito de cada ciencia. La Física, por ejemplo, estudia la estructura y comportamiento de la materia. Pero, como esta materia puede manifestarse de distintas maneras, habrá que producir distintas teorías que den cuenta de las diversas manifestaciones de la materia. Tenemos así teorías del estado sólido, teorías de sistemas dinámicos, física de partículas, física atómica, mecánica, termodinámica, etc. Además, la historia de la ciencia nos relata que para un alcance pretendido podemos encontrar en algún momento del tiempo diversas teorías que entran en competencia. Por ejemplo, a la astronomía Ptolemaica, que fue la teoría que se aceptó como verdadera desde la época griega hasta el siglo XV, le sucedió la mecánica de Newton, y a ésta la teoría de la relatividad. Es un problema típicamente filosófico determinar los criterios con los que juzgar cuándo una teoría es mejor o más verdadera que otra. Existen diversas escuelas de filosofía de la ciencia que aportan respuestas a esta cuestión.

La teoría no intenta describir todos los aspectos de los fenómenos que caen dentro del alcance pretendido, sino que selecciona de ellos ciertos **parámetros** e intenta describirlos en función de esos parámetros.

Por ejemplo, para determinar cómo se comportan los cuerpos en movimiento no es relevante el color del móvil o la forma que tenga. Un parámetro es un factor que se considera relevante para explicar algún hecho. A menudo, la determinación de qué parámetros son relevantes no es evidente. Por ejemplo, Galileo nos enseñó que, para explicar el compor-

tamiento de caída libre de los cuerpos o en general la noción de velocidad, el peso del cuerpo no era un parámetro de interés. La velocidad, desde los trabajos de Galileo, es una relación entre el tiempo y el espacio exclusivamente.

Así, la teoría supone que los fenómenos son sistemas aislados que están únicamente bajo influencia de los parámetros seleccionados. Lo que la teoría expresa *es cómo hubiera sido el fenómeno de haber sido un sistema aislado*, esto es, una copia ideal del fenómeno al que denominamos **sistema físico**.

Si denominamos **estado** a una configuración concreta de un sistema físico y si **el comportamiento de un sistema físico** es su cambio de estado a lo largo del tiempo, entonces *una teoría científica es una estructura que representa el comportamiento de los estados de los sistemas físicos*. En este sentido decimos que la teoría es un **modelo** de la realidad.

La noción de modelo toma dos significaciones según tratemos con ciencias formales o con ciencia experimentales. En las ciencias formales (lógica y matemáticas) un modelo es algo que satisface a una teoría, que la hace verdadera. Por ejemplo, en lógica un modelo es lo representado por una teoría. Sin embargo, en ciencias empíricas la noción de modelo se modifica para pasar a ser una representación de la realidad. Es decir, una imagen simplificada y controlada de la realidad que puede servir para explicar y comprender cómo se comporta de hecho esta realidad que representa.

2.2. Hipótesis y Leyes

Una hipótesis es algo que se supone. Un enunciado que se establece como explicación posible de un determinado problema. Su validez debe confirmarse mediante la contrastación experimental de sus consecuencias observables. Normalmente, lo primero que hacemos al producir conocimiento científico es observar lo que nos resulta problemático y desconocido. Tras esta observación aventuramos una posible explicación. Esta posible explicación toma la forma de una hipótesis. Tras ello iniciaremos un largo proceso para verificar si esta hipótesis se puede convertir en una ley.

Una Ley es una afirmación general que expresa una regularidad observada y contrastada en el comportamiento de un sistema físico. Normalmente unas leyes se relacionan con otras de un mismo tipo para producir una teoría.

A menudo, una ley es un enunciado que expresa una relación invariable o constante entre los parámetros que se incluyen en su formulación. Por ejemplo, tomemos la segunda ley de Newton que expresa que la fuerza es igual a masa por aceleración: $f = m \cdot a$. Los parámetros en este caso son ciertas propiedades que asignamos a los cuerpos, o mejor a abstracciones teóricas de los cuerpos (partículas), como son la fuerza, la masa y la aceleración. Lo que la ley expresa es la relación que encontramos entre estos parámetros. Advirtamos que una vez esta-

El Conocimiento Científico

blecida una ley, esta nos resulta una herramienta extremadamente útil para predecir lo que sucederá. Si sabemos, volviendo al ejemplo anterior, que para poner en movimiento un cuerpo de una determinada masa necesitamos una determinada fuerza, a la hora de construir un motor podemos proceder mucho más eficazmente que si tuviéramos que hacerlo por prueba y error. De la misma manera si conozco las leyes que explican el movimiento de los astros, mediante un cálculo relativamente sencillo podré predecir eclipses, instaurar calendarios o sistemas horarios.

Hasta ahora, cuando hablábamos de los objetivos de la ciencia sólo mencionábamos uno: la explicación del comportamiento de los fenómenos del mundo. Ahora vemos que con la posibilidad de la explicación va indisolublemente unida la posibilidad de la predicción. Explicar y predecir son dos caras de una misma moneda.

Podemos señalar varios tipos de leyes:

- Empírica: si contiene únicamente términos observables y se obtiene por generalización de los hechos.
- Teórica: si contiene términos no observables y en este caso es equiparable a una hipótesis confirmada.
- Determinista: expresan lo que sucederá.
- Estocásticas o estadísticas: Dicen lo que probablemente sucederá.

Después de haber aclarado esta serie de conceptos podemos ofrecer una descripción más completa de la ciencia. Para ello nos vamos a servir de un texto de Javier Echeverría:

La ciencia moderna es, entre otras cosas:

- (1) *Una búsqueda progresiva de conocimiento verdadero (o verosímil: en todo caso conforme a los hechos),*
- (2) *que nos proporciona diversas representaciones del mundo (micro-, me-so- y macrocosmos),*
- (3) *obtenidas siguiendo métodos precisos (observación, medida, experimentación, análisis, formalización, matematización...),*
- (4) *cuyo objeto preferente de estudio es la naturaleza (física, química, biológica, geológica, astronómica, etc.),*
- (5) *aunque también se aplica al estudio de las sociedades y de las personas (ciencias sociales, ciencias humanas).*
- (6) *Dicho conocimiento, actualizado y evaluado por la comunidad científica correspondiente,*
- (7) *es hecho público y es transmitido por la vía de la enseñanza obligatoria (escuelas, universidades),*
- (8) *porque algunas formas de dicho conocimiento, al aplicarse a transformar el mundo, se han mostrado particularmente útiles para los seres humanos y para los Estados. A lo largo de ese proceso*
- (9) *los científicos se han profesionalizado (y funcionarizado) y*

- (10) *el conocimiento científico ha sido considerado como un bien social relevante por los Estados nacionales modernos.*
- (11) *La ciencia moderna ha ampliado su influencia y su presencia social en el mundo desarrollado y ha sido utilizada para el dominio, control y transformación de la naturaleza y de la producción (sobre todo industrial).*
- (12) *Los conocimientos científicos y técnicos se han ido imbricando entre sí, hasta el punto de suscitar una nueva forma de ciencia, la tecnociencia.*
- (13) *La ciencia moderna, para su desarrollo, se ha basado en un formalismo matemático.*

(Javier Echeverría. Ciencia Moderna y Postmoderna. Fundación Juan March, 1998.)

Este texto nos aporta una descripción muy completa de la ciencia, no sólo contemplada como una actividad aislada, sino también dentro del marco de las sociedades en donde se produce y de los hombres y mujeres que la elaboran. Antes de seguir profundizando en estas ideas, debemos detenernos en lo que decíamos que había permitido esta elaboración humana que tan buenos resultados parece que nos está dando: el método científico.

3. Los Métodos de la Ciencia

Hay un círculo singular que aparece cuando intentamos comprender la actividad humana de producir conocimiento científico. Una teoría es calificada de científica si pasa los criterios que se han establecido. Pero estos criterios deben de estar ya incluidos en la manera en que una teoría científica se ha de construir. De esta manera, comprendemos que la ciencia nace cuando los seres humanos establecen, aceptan y difunden unas determinadas formas de proceder respecto a la producción, organización y uso de conjuntos homogéneos de conocimientos sobre el comportamiento de la realidad. Es decir, simplificando mucho, podríamos decir que *la ciencia es el resultado del uso de un método científico*. Pues en la definición de lo que es el método científico están ya incluidos los criterios de validez, contrastabilidad y publicidad con lo que demarcamos al conocimiento científico del no-científico. ¿Cuáles son, entonces, los métodos de la ciencia?

La Ciencia, sobre todo dependiendo de si es formal o experimental, utiliza diversos métodos para elaborar sus teorías. Entre ellos podemos destacar los siguientes:

3.1. La División

Dividir consiste en descomponer en partes una totalidad de acuerdo con un criterio. Mediante la división, la ciencia delimita los alcances de las teorías, pero también destaca los parámetros relevantes para el estudio de un fenómeno.

El Conocimiento Científico

Tradicionalmente, debido a la complejidad del mundo y de sus acontecimientos, la ciencia ha adoptado una postura *reduccionista*. Por reduccionismo entendemos la limitación de los factores a estudiar y, sobre todo, la limitación de los agentes causales y explicativos. Este reduccionismo viene asociado a la selección de propiedades cuantitativas de los fenómenos que permitan la tarea de la medición de los hechos y la matematización de las teorías.

Esto responde a que sólo sobre propiedades cuantitativas, es decir, medibles y matematizables, podemos realizar observaciones objetivas y podemos calcular consecuencias con precisión.

Visto así, la Matemática ha representado un elemento fundamental en el desarrollo de la ciencia y sólo conforme se han ido creando formalismos matemáticos capaces de integrar y relacionar más parámetros se ha podido abordar el estudio de fragmentos de la realidad más complejos o diseñar herramientas tecnológicas más precisas.

3.2. La Definición

Una definición consiste en establecer una igualdad entre dos términos, que dentro del marco de una definición reciben los nombres latinos de *definiendum* y *definiens* (lo definido y lo que define).

En el marco de la ciencia se considera que una definición establece una correspondencia entre símbolos. Este recurso permite introducir nuevos términos en un determinado ámbito teórico en función de otros ya existentes. Con ello conseguimos ordenar y estructurar los elementos que componen una teoría científica.

La definición, vista de esta manera, tiene que darse dentro de un campo conceptual.

La necesidad de estructurar los conjuntos de conocimientos en teorías que den cuenta de ámbitos de realidad supone introducirse más en ámbitos conceptuales y alejarse de los que son accesibles a la observación humana y que tradicionalmente han aportado la evidencia. Esta inevitable forma de comprender el mundo lleva asociada numerosos problemas respecto a la verificación de teorías, la producción de experimentos, e incluso la determinación de los hechos.

Esto no es exclusivo del conocimiento científico, sino que también caracteriza cualquier ámbito de la experiencia humana. Por ejemplo, en un proceso judicial, resulta sumamente importante establecer los hechos, porque no es jurídicamente lo mismo un homicidio que un asesinato.

3.3. El Método Hipotético-Deductivo

Además de los métodos señalados tenemos otros como la demostración, que veremos en profundidad en el tema sobre la lógica, pero todos estos métodos

se reúnen en el que propiamente define y regula el proceder científico: el método hipotético-deductivo.

El principal problema de la ciencia es cómo establecer generalizaciones de carácter universal y necesario. Las proposiciones de la ciencia deben valer en todo tiempo y en todo caso, pero la vida de las personas e incluso la vida de la humanidad es finita aunque se proyecte hacia el futuro. ¿Cómo entonces podemos llegar a establecer una ley que se cumpla siempre y para todo caso? ¿Cómo se establecen las leyes científicas?

Una primera respuesta podría ser mediante la acumulación de observaciones, es decir, *inductivamente*. Si todos los cuervos que hemos visto hasta ahora son o han sido negros, podremos establecer una generalización que afirme que 'todos los cuervos son negros'. Pero, de esta manera, no tendremos defensa si mañana aparece un cuervo blanco.

Además las teorías científicas deben ser productivas, en el sentido de poder explicar el mayor conjunto de hechos y de producir el máximo número de predicciones con el menor número de leyes. Si tuviéramos una ley para explicar cada hecho posible, la ciencia no tendría ningún interés. Si para calcular la velocidad de un móvil tuviéramos una ley para cada móvil posible, no hablaríamos de ciencia. a lo sumo de casuística, es decir, de una relación de casos.

La ciencia para producir sus teorías necesitan apoyarse en métodos que permitan lograr la sistematicidad que pretende. Por un lado, toda teoría científica tiene que organizarse formalmente, para asegurar que el despliegue sistemático de conocimientos no se realiza inadecuadamente. Normalmente algún sistema axiomático o algún cálculo lógico contenido en el aparato matemático que utilizan las teorías empíricas sirve para ese propósito. Esto asegura la verdad formal de la teoría científica. Pero, por otro lado, las ciencias experimentales necesitan también asegurar la verdad material, o la verosimilitud, o al menos salvar los fenómenos o ajustarse a los hechos. Con este fin surge la idea del **experimento**: la reproducción de las circunstancias que concurren en una determinada situación que se quiera estudiar, de tal manera que los parámetros de interés pueden ser controlados y medidos, para en último término poder verificar una determinada explicación de esta situación o realidad.

En este sentido los estudios científicos se han especializado de tal manera que no es infrecuente encontrar una ciencia teórica, que genera teorías; y una ciencia experimental que diseña y ejecuta experimentos para comprobar la validez de las teorías producidas. La simplificación de este doble trabajo ha recibido el nombre de método hipotético-deductivo, cuyo origen se atribuye a Galileo y que es el método característico de la ciencia experimental.

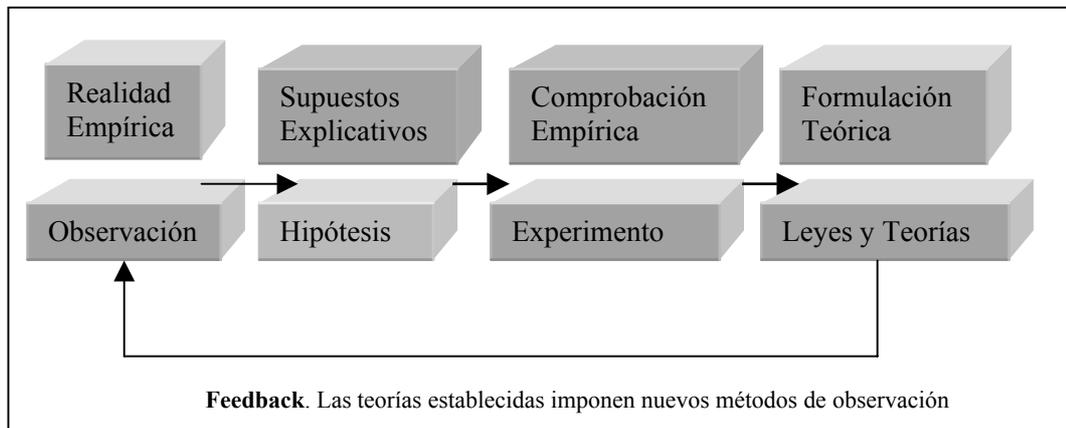
3.1.1 El Proceso del Método Hipotético-Deductivo

El Método hipotético-deductivo permite satisfacer todas las exigencias que hemos venido discutiendo. Consiste en una secuencia de pasos, cada uno de

El Conocimiento Científico

los cuales contiene a su vez normas y criterios específicos para llevarlos a cabo adecuadamente. Esta secuencia es la siguiente:

- (1) **Observación:** La observación es el punto de partida. Es el análisis del fenómeno para descubrir sus elementos relevantes. La observación debe realizarse siempre desde unas determinadas coordenadas. Debe ser pública.
- (2) **Formulación de Hipótesis:** Consiste en dar una explicación a lo observado, de tal forma que se pueda establecer una explicación provisional que toma la forma de hipótesis. Popper pensaba que la ciencia debía ser el esfuerzo constante de formular conjeturas e intentar refutarlas
- (3) **Estructuración matemática y deducción:** La hipótesis debe ser traducida al lenguaje matemático, que es el instrumento de análisis y establecimiento de consecuencias. Los resultados así obtenidos se convierten en una hipótesis teóricamente establecida.
- (4) **Experimentación:** Consiste en establecer un artificio que sea capaz de demostrar empíricamente que la hipótesis y sus consecuencias deducidas se cumplen. El resultado negativo debería implicar el abandono de la hipótesis y la necesidad de buscar otra distinta. Por el contrario, el resultado positivo confirma la hipótesis haciendo que esta adquiera la categoría de ley.
- (5) **Confirmación:** La hipótesis se convierte en ley y la integración de las leyes constituyen las teorías. La historia de la ciencia muestra que debemos pensar las leyes con un carácter provisional.



El Método Hipotético-Deductivo: Secuencia de pasos

4. Los Orígenes de la Ciencia

¿En qué momento se establece, difunde y consolida el método científico?
¿Cuándo surge la ciencia en la historia de la humanidad?

Sin duda, en Grecia, cuando emerge una forma de interrogar a la naturaleza y al hombre, hay importantes realizaciones científicas. Pitágoras, Aristóteles, Euclides, Galeno, Hipócrates, Arquímedes son pensadores que han pasado a la historia de la Ciencia por sus importantes contribuciones. En los libros de texto que todavía hoy estudiamos tenemos teoremas o ciencias enteras que llevan sus nombres. Sin embargo, no podemos afirmar que la ciencia, como lo hacemos de la filosofía, nazca en Grecia. Si el método científico es el elemento que consolida y agrupa a una determinada comunidad de hombres y mujeres y que regula su actividad, es indudable que esta aceptación del método exige un proceso de institucionalización por el cual la ciencia se organiza y consolida, con unos objetivos conocidos y en el seno de sociedades que la mantienen y la usan. Sólo cuando encontramos una situación de este tipo en la historia podemos decir que existe la Ciencia como una actividad social de las comunidades humanas.

Aunque la historia de la Ciencia atribuye a Galileo la creación del método hipotético deductivo y, como consecuencia, el nacimiento de la ciencia moderna entre los siglos XV y XVII, en lo que se ha denominado 'Revolución Copernicana', lo cierto es que tanto la actitud como el trabajo de estos científicos difieren notablemente del de los científicos modernos. De hecho, ellos mismos se denominaban entre sí y para el resto de la humanidad '*filósofos de la naturaleza*'.

Sin duda, preguntarse sobre quién fue el primer científico no tiene demasiado sentido, deberíamos plantear mejor la investigación sobre el origen de la ciencia en otros términos: ¿cómo en una sociedad se inician y se desarrollan a lo largo del tiempo unas actividades dentro de determinados colectivos que pueden identificarse gradualmente como actividades científicas?

Afrontándolo así, es indudable que entre los siglos XV al XVII, desde los trabajos de Copérnico hasta la culminación de la revolución Copernicana en la obra de Newton, se produce un profundo cambio en la visión de la naturaleza y en el modo de interrogarla. Hay amplias discusiones sobre lo que hemos denominado método científico, se analiza el papel de la observación y la experimentación, se generaliza la utilización de hipótesis, y, sobre todo, se recurre a la cuantificación y a la matematización. Posiblemente, el descubrimiento de la matemática como una herramienta sumamente útil a la hora de investigar la naturaleza jugó un papel decisivo en el origen de la ciencia. En esta época, se realizan numerosos logros y avances científicos en campos como la astronomía, la mecánica, la óptica, la anatomía, la química y la matemática.

Entre 1660 y 1700 se fundan las sociedades científicas de Inglaterra, Francia y Alemania, lo que provocó que las nuevas ideas se fueron conociendo y difundiendo cada vez con más alcance en el seno de la sociedad culta del momento. Estas nuevas ideas penetraron también en otros campos de la cultura y esto significó el abandono casi mayoritario de creencias que habían conformado

El Conocimiento Científico

la mentalidad y el modo de pensar de épocas pasadas. Es destacable el declive de la creencia en la astrología y la brujería. Las nuevas ideas debilitaron o pusieron bajo sospecha posturas en la concepción del hombre y del mundo. Por ejemplo, el antropocentrismo, el antropomorfismo y las explicaciones teleológicas[∨] dejaron de ser posturas admitidas en la ciencia, sobre todo después de los trabajos de Darwin en el siglo XIX.

A pesar de todo lo dicho, la ciencia no son sólo ideas creadas por pensadores geniales que las ofrecieron a sus contemporáneos. La ciencia es fundamentalmente actividad. Una actividad establecida, financiada, desarrollada por profesionales, que requieren de una sólida instrucción, y que, por tanto, debe institucionalizarse para asegurar su permanencia. En este proceso de institucionalización se originan tradiciones y escuelas que se instalan en universidades, laboratorios e institutos de investigación. Esto no ocurrió en el siglo XVII, en el que ni siquiera se usaban términos como ciencia o científico. Parece ser que la palabra '*científico*' se utilizó por primera vez en 1833 cuando William Whewell la empleó para denominar a los que se habían reunido en la Asociación Británica para el avance de la Ciencia. Si este término se consolidó en el vocabulario, se debió a que muchos hombres de ciencia lo acogieron para describirse como profesionales.

A lo largo del siglo XIX es cuando la ciencia se institucionaliza, creándose puestos de trabajo, apareciendo nuevas universidades y sobre todo departamentos de ciencias en ellas. Hasta entonces la ciencia era una actividad de aficionados ociosos de clase alta, una diversión de aristócratas cultivados. Pero, la espléndidas relaciones que se establecen entre empresa y ciencia en el desarrollo de la revolución industrial, favorecen la institucionalización de las actividades científicas. Posteriormente, los desarrollos tecnológicos y las ventajas que aporta a la sociedad originaría la inclusión del estudio de la ciencia en los sistemas educativos, lo que aseguró las condiciones adecuadas para desarrollar carreras científicas.

Cuando una actividad humana se institucionaliza se convierte en un pilar de la sociedad, en un elemento organizativo e integrador de las comunidades humanas, por eso hoy parece totalmente imposible vivir sin ciencia, es más, en la actualidad, la ciencia se ha convertido en el medio ideológico más sobresaliente para unificar conductas, difundir ideas y valores a la sociedad y para establecer pautas de comportamiento a sus integrantes.

Es un asunto discutido en el marco de la Historia de la Ciencia, el por qué la ciencia se institucionaliza y se desarrolla tan ampliamente en un momento determinado de la historia en Occidente y no en otra parte del mundo o en otra

[∨] El antropocentrismo se debilita cuando, desde Copérnico, el hombre se ve desplazado del centro del universo y queda reducido a un elemento más de un universo infinito. Los planteamientos antropomórficos, en consecuencia, quedan desautorizados. El uso exclusivo de una causalidad eficiente y mecánica convirtió a las explicaciones basadas en causas finales, teleológicas, en no científicas. (En el Tema 5 se describen con detalle estas transformaciones)

época. ¿Por qué no surge en Grecia, al hilo del descubrimiento del logos, de la filosofía y de la democracia? Sin duda, el elenco de científicos griegos que hemos mencionado anteriormente y los importantes desarrollos que realizaron son comparables a los geniales científicos del siglo XVI y XVII; sin embargo, la sociedad griega no institucionalizó estas actividades, no las integró en su sistema educativo, ni promovió un uso generalizado de sus aplicaciones tecnológicas (salvo legendarios casos como el de Arquímedes, famoso en la antigüedad por el diseño de máquinas de guerra). En esta comparación vemos que en el origen de la ciencia deben contemplarse numerosos factores, muchos de los cuales son externos a la propia actividad científica. Como quiera que sea que surgiera la ciencia lo cierto es que, como decía Echeverría en el texto anterior:

- (8) *porque algunas formas de dicho conocimiento, al aplicarse a transformar el mundo, se han mostrado particularmente útiles para los seres humanos y para los Estados. A lo largo de ese proceso*
- (9) *los científicos se han profesionalizado (y funcionarizado) y*
- (10) *el conocimiento científico ha sido considerado como un bien social relevante por los Estados nacionales modernos.*
- (11) *La ciencia moderna ha ampliado su influencia y su presencia social en el mundo desarrollado y ha sido utilizada para el dominio, control y transformación de la naturaleza y de la producción (sobre todo industrial).*
- (12) *Los conocimientos científicos y técnicos se han ido imbricando entre sí, hasta el punto de suscitar una nueva forma de ciencia, la tecnociencia.*
(Javier Echeverría. Ciencia Moderna y Postmoderna. Fundación Juan March, 1998.)

Hoy la ciencia se ha convertido en un arma de doble filo, por un lado, depositamos en ella muchas de nuestras más profundas esperanzas de bienestar y felicidad, pero, por otro, nos crea profundos temores y recelos respecto a lo que será capaz de producir. ¿Tiene límites la ciencia o deberíamos ponérselos? será la cuestión que abordaremos a continuación.

5. Los Límites y Peligros de la Ciencia

Una mirada a la historia de la ciencia o, más sencillamente, a la evolución de las sociedades en donde la ciencia se ha institucionalizado, puede convencernos de que la ciencia no tiene límites en su capacidad de conocimiento del mundo, de aplicación tecnológica y de intervención en el curso de los acontecimientos físicos y sociales. Sin embargo, esta *hipótesis* debe considerarse con cautela y analizarse teniendo en cuenta muchos elementos. Entre los elementos que no pueden olvidarse al considerar los posibles límites de la ciencia deberían aparecer las intenciones y los fines de los seres humanos. La ciencia es, ante todo, un modo de interrogar a la naturaleza, para obtener una comprensión de sus pro-

El Conocimiento Científico

cesos y fenómenos, pero siempre en función de las intenciones, esperanzas y necesidades de las comunidades en donde se desarrolla, o, al menos, de los grupos de interés de estas sociedades. En este sentido, deberemos distinguir varias cosas:

- (1) En primer lugar la ciencia tiene unos límites respecto a la capacidad de producir conocimiento que ella misma se impone en la definición de sus objetos de estudio y de sus métodos de trabajo. La ciencia sólo investiga cuestiones de hecho, no puede escapar a los límites de la experiencia. En este sentido, habrá un conjunto de preguntas típicamente filosóficas o que se integran en las creencias religiosas que la ciencia no podrá responder. Es el ámbito de lo que se denomina trascendental. Cuestiones sobre la existencia de Dios, sobre por qué hay algo en lugar de nada o cuestiones sobre el sentido de la vida caen fuera de toda investigación científica posible.
- (2) En segundo lugar, la valoración del progreso imparable de la ciencia es discutible. Si contemplamos la ciencia como una herramienta de las sociedades humanas, es evidente que, en cada periodo histórico, cada sociedad ha producido aquellas teorías científicas con las que ha comprendido y actuado en el mundo. Afirmar que la ciencia es una actividad progresiva es difícil de demostrar, y desde luego en la historia de la ciencia encontramos teoría rivales inconmensurables, es decir, comparables muy difícilmente y desde luego no asimilables o reducibles entre sí. Las diversas cosmovisiones científicas que se han dado históricamente, y que veremos en el tema 5, dan una buena muestra de esta afirmación. Al comparar las teorías científicas que se han venido sucediendo a lo largo de la historia, no es extraño pensar que el conocimiento verdadero del mundo no es algo a descubrir, sino algo más bien a construir en esa relación que cada cultura inicia con su medio. Sin duda la mecánica clásica es irreconciliable con la mecánica cuántica, pero ¿cuál de ellas se aproxima más a la verdad del mundo? Tal vez sea una pregunta que no tenga respuesta. Visto así, quizá lo mejor fuera formular de otro modo o en otros términos esa pregunta. No obstante, esta visión revolucionaria o no acumulativa de la ciencia, no tiene por que extenderse necesariamente a la tecnología.
- (3) Es la tecnología la que muestra una evolución más progresiva en su tarea de modificar e intervenir en el medio. Efectivamente, los hombres cada vez tienen más posibilidad de intervenir para modificar a su voluntad el medio que habitan. La relación entre ciencia y tecnología es una relación compleja que tendremos que analizar. Pero, en principio, podemos separar la capacidad del hombre de conocer verdades de la de transformar el medio.
- (4) Finalmente, la ciencia debe contener una responsabilidad ética que limite sus actuaciones y que se ajuste a las esperanzas y necesidades de una humanidad que fundamentalmente procura su felicidad. En el presente, la ciencia ha mostrado también que con ella van asociados importantes peligros que pueden atentar contra la vida, en general, y la vida humana, en particular. Las biotecnologías, la posibilidad de clonación humana, los alimentos

transgénicos, etc, abren horizontes cuyas consecuencias no son previsibles y arriesgarse a descubrirlos parece, cuanto menos, irresponsable. En este sentido, la ciencia debe evaluar las posibles consecuencias de sus investigaciones y mantener un elevado rigor ético al realizarlas. Esta preocupación ética debería llevarla, si es preciso, a autolimitarse en sus logros y capacidades. Hoy, tras episodios históricos y catástrofes ecológicas, parece que debe iniciarse un nuevo diálogo que nos permita rechazar aquellas pretensiones de la ciencia que la tecnología es capaz de realizar. Poco a poco vamos comprendiendo que debemos partir de nuestras relaciones con el mundo para darle un significado, que razonar sólo exige la respuesta que necesitamos y por eso la ciencia debe delimitar con antelación cuán amplia necesita ser nuestra explicación, cuán extensas nuestras preguntas, qué saber nos permitirá hacer inteligible los fenómenos a los que dirigimos estas preguntas. De algún modo, los límites de la ciencia han de ser los que nosotros mismos nos pongamos, en la comprensión de que mundo y hombre no son entidades independientes, sino que se construyen en esa relación peculiar que denominamos conocimiento.

6. Ciencia y Tecnología: Tecnociencia

Hasta el momento, toda la descripción que hemos hecho de la ciencia se corresponde y se ajusta con el periodo que se inicia con la revolución copernicana, en el siglo XV-XVII, y que llega hasta nuestros días. Sin embargo, muchos autores empiezan a ver que esta descripción ya no es del todo adecuada para las formas contemporáneas de hacer ciencia. Desde comienzo de siglo, muchos elementos de la cultura, la filosofía o el arte, nos han llevado a pensar que nuestra época ya no tiene demasiado que ver con la modernidad. Es indudable que en la ciencia está ocurriendo también una transformación semejante. Hoy describimos nuestra época con la palabra *posmodernidad*, y destacamos como rasgo más característico de la posmodernidad la quiebra de una visión global y omnicomprensiva sobre el mundo, el hombre y la racionalidad humana. De algún modo se ha perdido la esperanza ilustrada de lograr una fundamentación del conocimiento, de alcanzar alguna vez una comprensión completa y verdadera del mundo y de sus acontecimientos. En el presente, la razón humana se contempla más como una herramienta al servicio de los hombre para adaptarse y sobrevivir, que como algo que nos une con lo divino o espiritual y que comparte con esto un poder que escapa a los propios seres humanos.

En la ciencia, esta quiebra de la racionalidad y esta pérdida de la esperanza de lograr un conocimiento definitivo, ha trasladado el interés y la investigación a la tecnología, hasta el punto de que los procesos de dirección y de planificación de las actividades científicas se han modificado por completo. Ahora, con una actitud y una justificación básicamente instrumentalista, es la tecnología la que dirige, planifica y organiza las actividades científicas. Sólo se financian aquellas investigaciones que tengan una aplicación tecnológica evidente y la

El Conocimiento Científico

sociedad ya no reclama verdades sino eficacia técnica. Por eso, no es extraño empezar a escuchar la denominación de *tecnociencia* para sustituir la palabra y el concepto de ciencia moderna. El texto de Javier Echeverría, del que nos habíamos servido para describir y caracterizar a la ciencia moderna, prosigue precisamente describiendo lo que el autor denomina tecnociencia :

"La tecnociencia no es sólo la búsqueda de conocimiento representacional verdadero, sino ante todo:

- (1) *Una acción eficiente de transformación del mundo basada en conocimiento científico,*
- (2) *desarrollada tecnológicamente e industrialmente, que*
- (3) *ya no versa sólo sobre la naturaleza, sino que también se orienta a la sociedad y a los seres humanos, sin limitarse a describir, explicar, predecir o comprender el mundo, sino tendiendo a transformarlo*
- (4) *según una serie de valores satisfechos, en mayor o menor grado, por la actividad tecnocientífica y por sus resultados; entre dichos valores la verdad o la verosimilitud no ocupan el lugar central, aunque siguen teniendo un peso específico considerable.*
- (5) *Su referente es una serie de naturalezas artificiales (o mundos artificiales) que la tecnociencia posibilita y construye. Por oposición a la ciencia moderna, la tecnociencia implica, no sólo una profesionalización, sino*
- (6) *una empresarización de la actividad científica.*
- (7) *Siendo la tecnociencia un factor relevante de innovación y de desarrollo económico, pasa a ser*
- (8) *uno de los poderes dominantes en las sociedades más avanzadas. La tecnociencia también se enseña públicamente, pero, a diferencia de la ciencia moderna (especialmente en su versión ilustrada), el conocimiento y la práctica tecnocientífica*
- (9) *tienden a privatizarse, e incluso a devenir secretos.*
- (10) *La tecnociencia no sólo es un instrumento de dominio y transformación de la naturaleza, sino también de las sociedades,*
- (11) *revelándose muy útil para determinados grupos sociales transnacionales, en principio no estatales, que obtienen grandes beneficios de ella.*
- (12) *La tecnociencia se inserta en un nuevo sistema de producción, al que podemos denominar postindustrial (sociedad del conocimiento y de la información).*
- (13) *La tecnociencia contemporánea, para su desarrollo, se basa en un nuevo formalismo, la informática.*

(Javier Echeverría. Ciencia Moderna y Postmoderna. Fundación Juan March, 1998)

Efectivamente la ciencia contemporánea se encamina fundamentalmente a transformar la realidad, una realidad que cada vez de forma más amplia es abordada por la ciencia, porque en gran medida esta realidad se ha visto ampliada por la producción tecnológica de mundos artificiales, en los que los seres humanos de las sociedades posindustriales desarrollan su actividad. Pensemos, por ejemplo, en las nuevas tecnologías de la información, que no sólo crean mundos virtuales, sino que nos introduce en ellos, trasladando así muchas actividades humanas a estos entornos tecnológicos. Si ya la ciencia se había convertido es uno de los elementos más importantes de organización y estructuración social, podemos decir que la tecnociencia ha adquirido tal poder que de alguna manera impone actitudes, creencias y maneras de ser y de pensar en las comunidades donde se desarrolla. No negaremos, desde luego, que esta implicación tan estrecha que se ha producido entre ciencia y tecnología ha generado interesantes avances y mejoras en la vida de los hombres, pero también ha abierto un horizonte de incertidumbre y peligro, como tan bien han reflejado películas de ciencia ficción y antiutopías sociales.

En este sentido, nos encontramos viviendo en sociedades cada vez más individualistas, tecnológicamente asistidas, donde todo corre el peligro de ser instrumentalizado, y donde impera como valor fundamental y rector la utilidad y la eficacia.

Debemos, de nuevo, repetir que nada del hombre debe escapar a sus esperanzas, fines y necesidades. Y este humanismo, pues humanismo es vincular la actividad humana con sus fines, debe servirnos de filtro para el análisis y la evaluación de las cuestiones de nuestro presente, entre las cuales en una posición preeminente se encuentra la ciencia y la tecnología.